

周向多爆炸成型弹丸战斗部仿真

张利,彭雪琴

(国营九三二四厂,合肥 231202)

摘要:为了提高多爆炸成型弹丸(MEFP)对武装直升机、巡航导弹及空地制导武器等目标的毁伤能力,通过在炸药周向布置多个药型罩、轴向布置多层结构的办法,设计了一种新型多枚爆炸成型弹丸战斗部,分析了弹丸成型过程中的力学特性并利用动力学仿真软件模拟了成型过程。毁伤计算结果表明:该型战斗部所形成的单个EFP在穿透10 mm装甲后仍具有较高的剩余动能,对轻型装甲目标具有较高的毁伤效能,研究结果可为小口径MEFP战斗部设计提供参考。

关键词:MEFP;弹丸设计;防空反导

本文引用格式:张利,彭雪琴.周向多爆炸成型弹丸战斗部仿真[J].四川兵工学报,2014(9):32-35.

中图分类号:TJ410.33

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2014)09-0032-04

Simulation Study of Circumferential MEFP Warhead

ZHANG Li, PENG Xue-qin

(Factory 9324, Hefei 231202, China)

Abstract: To strength the multiple explosively formed projectiles' (MEFP) damage effect on such targets like armed helicopters, cruise missiles and ground guided weapons, liners this paper designed were circumferential layered with multi-layers along the axial. After the analysis on the EFP's mechanical properties during the forming process, the dynamic simulation software was adopted to reappear this forming process. De Marre formula calculation results show: the single EFP's residual kinetic energy was significant even after it penetrated 10mm armor plate. The result of this paper indicates that MEFP warhead has impressive prospect to damage the abovementioned targets, and it will provide valuable reference for the Small-Caliber of the EFP's warhead.

Key words: MEFP; projectile design; air defense and antimissile

Citation format: ZHANG Li, PENG Xue-qin. Simulation Study of Circumferential MEFP Warhead[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(9): 32-35.

由于预制破片战斗部和连续杆战斗部在防空作战中存在毁伤能力不足的问题,而爆炸成型弹丸(EFP)具有抗旋、抗干扰能力强、对炸高不敏感和侵彻后效大等特点,已被广泛应用于现代防空作战技术。为提高EFP的命中概率和毁伤能力,近年来国内外学者对多枚爆炸成型弹丸(MEFP)进行了深入研究^[1-4]。与EFP相比,MEFP是由多个成形弹丸组成的EFP集群,对目标进行大密集度攻击,从而造成对目标的大面积毁伤。

对于MEFP的结构设计,王猛^[5]等通过在药型罩上预制

沟槽和开孔方法,设计了一种整体MEFP结构,并对其进行了静爆试验和数值模拟。Blache等^[6]通过在战斗部径向布置多个EFP子装药,采用专门的起爆系统使各子装药同时起爆,以形成多个EFP,周翔等^[7]通过对子装药结构的MEFP成形性能及其影响因素进行了数值模拟,由此可见,MEFP的应用主要集中于战斗部点火起爆后沿轴线方向形成定向MEFP。但是,受弹径的限制,这些方案形成的EFP数量较少,又要求严格控制起爆时间,并且存在击中目标的概率较小和毁伤能力不足等问题。

收稿日期:2014-03-28

作者简介:张利(1978—),男,工程师,主要从事弹药工程研究。

随着弹药技术智能化、灵巧化的不断发展,发展高效毁伤的小型化弹药战斗部尤为重要,本文基于单兵作战或小口径火炮、火箭弹的防空反导需要,提出了一种周向 MEFP 战斗部。通过在轴向布置多层聚能战斗部结构,可在周向形成高密度的 MEFP 列阵,数值模拟结果表明,周向 MEFP 结构简单,毁伤威力较大,可以应用于对付空中轻型装甲目标的作战需要。

1 理论建模

基于聚能装药战斗部的理论基础,设计了一种轴向多层列阵分布的多爆炸成型弹丸战斗部结构,如图 1 所示。其几何尺寸和结果组成为:战斗部外径 68 mm,长 210 mm,轴向为 7 层,单层结构为装药周向布置 8 个瓦片状等壁厚药型罩,图 2 为单个药型罩的二维结构。

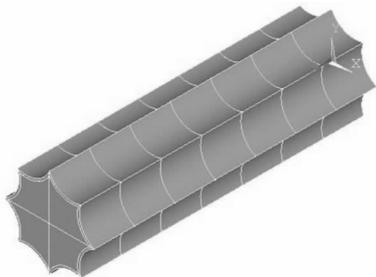


图 1 战斗部结构示意图

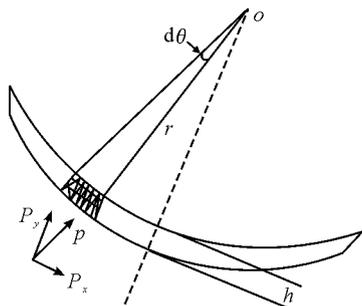


图 2 药型罩二维截面图

分析图 2 可知,药型罩位移面积和质量为

$$\begin{cases} dA = rd\theta h \\ dm = \rho dA \end{cases} \quad (1)$$

式中: dA 为微元面积; r 为药型罩曲率半径; $d\theta$ 为角度微分; h 为微元处壁厚; ρ 为药型罩微元面密度; dm 为微元质量。

当爆轰波作用于该微元上时,在爆压 $p(t)$ 作用下微元加速,根据动量原理得

$$Vdm = \int p(\omega, t) dAdt \quad (2)$$

爆轰波与各微元作用时为稳定爆轰,假设其初始参数为

定值,则爆轰波与药型罩微元作用的压力仅是入射角 ω 与时间 t 的函数。

若令 $P = \int P(\omega, t) dt$, 对微元速度和所受压力进行矢量分解

$$\begin{cases} V = V_x i + V_y j \\ P = P_x i + P_y j \\ n = i \sin \alpha + j \cos \alpha \end{cases} \quad (3)$$

由式(1)、式(2)、式(3)可得药型罩微元切向和轴向速度为

$$\begin{cases} V_x = \frac{P_x}{dm} = \frac{P \sin \alpha}{\rho h r d \theta} \\ V_y = \frac{P_y}{dm} = \frac{P \cos \alpha}{\rho h r d \theta} \end{cases} \quad (4)$$

其中: i, j 分别表示切向 x 和轴向 y 方向的单位矢量; P 为微元所受冲量; α 为微元压力方向与药型罩轴线方向的夹角; V 为微元在爆轰波作用下的速度; n 为药型罩轴线方向的单位矢量。

文献[8]中研究得出:变壁厚药型罩形成的 EFP 外形优于等壁厚药型罩所形成的 EFP。这是由于药型罩在变形过程中可以产生较好的速度梯度,有利于形成密实度好、长径比大的 EFP,但是变壁厚药型罩在实际加工过程中精度要求很高,从工程实际出发考虑,本文仍采用等壁厚结构。

2 数值模拟

2.1 仿真模型

基于 LS-DYNA 瞬态动力学软件对周向 MEFP 战斗部的单层结构进行数值模拟,计算模型采用完整的三维实体建模,在 CATIA 中建立几何模型后,导入 ANSYS 软件中进行结构化网格划分,如图 3 所示。

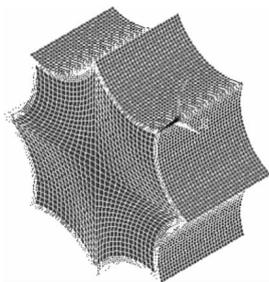


图 3 单层 MEFP 结构化网格模型

2.2 模型材料参数

主装药采用 (RDX/TNT) 混合炸药和高能炸药材料模型 (HIGH-EXPLOSIVE-BURN)^[9],爆轰产物的膨胀采用 (JWL) 状态方程^[9],药型罩材料为紫铜,计算中使用 (JOHNSON-COOK)^[9] 材料模型和 (GRUNEISEN)^[9] 本构方程,相关参数如表 1 所示。

表1 药型罩材料及状态方程参数

参数	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	G/GPa	P_r	T_m	A	B	n	c	m
数值	8.93	47.7	0	1 360	0.09	0.293	0.31	0.025	1.09
参数	$C/(km \cdot s^{-1})$	S_1	S_2	S_3	γ_0	a	E_0	V_0	
数值	3.94	1.49	0	0	1.99	0	0	0	

2.3 模拟过程

整个模型采用中心线起爆方式,起爆 $40 \mu s$ 后,炸药基本爆轰完毕此时删去炸药,在计算过程中应用侵蚀接触算法删去了变形过大的无效单元。图4为MEFP战斗部的成型过程,结果表明:由于药型罩的轴向速度差,在轴向不断产生拉伸变形,因径向速度在径向产生压垮变形,最终形成了向四周飞散的MEFP列阵。

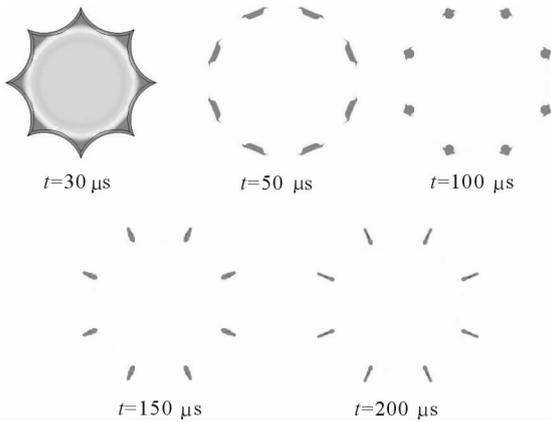


图4 MEFP 成型过程

2.4 结果与分析

图5为单个EFP最终成型图,其结构外形为片状结构,几何尺寸为:最大厚度 3.75 mm ,长 30.15 mm ,宽 13.5 mm 。图6为单个EFP速度随时间的变化曲线,图6中的折线部分是由于药型罩之间的相互作用,当各个EFP相互分离时,速度变化有小幅增加,这是由于在药型罩变形过程中删去了边缘变形过大的无效单元,质量有少量损失,所以速度会小幅增长,最大速度 2160 m/s 。通过在MEFP战斗部周围一定半径内布置钢制立靶来验证成型情况。MEFP战斗部形成的成型弹丸对靶板的侵彻如图7所示,靶板上留下的侵彻孔径近似呈条状,考虑到侵彻过程中,飞片在靶板表面形成开坑、扩口毁伤,导致侵彻孔洞稍大于成型弹丸的截面尺寸,远大于预制破片型战斗部的破片开孔能力。

3 MEFP 战斗部的毁伤效能

由于EFP对装甲的侵彻过程类似杆式穿甲弹高速穿甲过程,因此EFP对装甲的侵彻是冲塞破坏时,其极限穿透速度用德马尔公式来估算是恰当的,德马尔公式如下:

$$V_u = \frac{K \cdot d^{0.75} b^{0.70}}{m^{0.5}} \times \cos\alpha \quad (5)$$

式中: V_u 为极限穿透速度(m/s); d 为EFP弹径(m); b 为装甲板厚度(m); m 为EFP质量(kg), K 为弹靶系数,通常取 $67\ 650$; α 为靶板法线与射线间夹角。

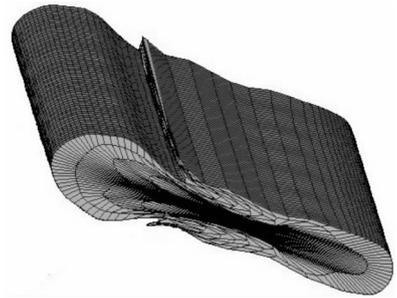


图5 单个EFP 最终成型图

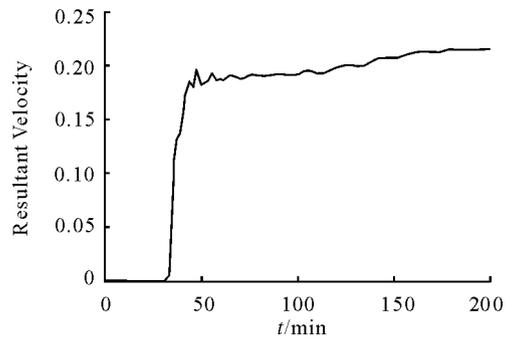


图6 单个EFP 速度随时间的变化曲线

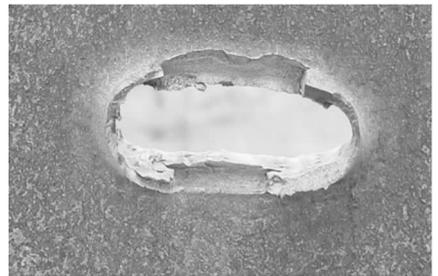


图7 实验结果

按通常应用于防空反导类弹丸所需穿透钢板的厚度计算,取装甲板厚度为 10 ,将片状结构等效为圆柱状结构取弹径为

$$d = 2 \sqrt{\frac{3.75 \times 13.5}{3.14}} = 7.73 \text{ mm} \quad (6)$$

利用 CATIA 软件建模药型罩后,装填密度为 $8\ 930\ \text{kg/m}^3$ 的铜质材料后,得出药型罩的质量为 $0.01\ \text{kg}$,假设质量损失为 30% ,取 EFP 质量为 $0.007\ \text{kg}$, α 取 30° 。极限穿透速度按上式德尔马公式计算得到

$$V_u \approx 726.7\ \text{m/s} \quad (6)$$

计算结果表明:若 EFP 的初速按照 $2\ 100\ \text{m/s}$ 计算,如按 $6\ \text{m/s}$ 速度降计算, $100\ \text{m/s}$ 射距速度减小 $600\ \text{m/s}$,则其着靶速度为 $1\ 500\ \text{m/s}$,完全满足极限穿透速度的要求,在此基础上,根据二者有较大的速度差可以得出:本文所提出的这种 MEFP 战斗部形成的单个 EFP 在穿透 $10\ \text{mm}$ 厚的装甲后仍能剩余较大的动能,因此,其毁伤效果较好。

4 结论

通过对周向 MEFP 战斗部结构设计,数值模拟其成型过程及其毁伤效果计算,主要得到以下结论:

1) 通过在炸药周向布置多个药型罩、轴向布置多层结构的办法,通过数值模拟单层结构,最终在周向形成 8 枚分布均匀的 EFP,单个成型弹丸的速度约为 $2\ 100\ \text{m/s}$,侵略威力较大,用于对付武装直升机、来袭导弹等目标时可以满足需要。

2) 德马尔公式的计算结果表明单个 EFP 在穿透 $10\ \text{mm}$ 厚的装甲后,仍然能够剩余较大的动能,毁伤效果较好。

3) 随着弹药技术智能化、灵巧化的不断发展,研究更为小巧的更大威力的战斗部尤为重要,本文所提出的这种新型周向 MEFP 战斗部可以为发展适于单兵作战或小口径火炮、火箭弹等防空反导的需要提供参考。

参考文献:

[1] 王颂康,朱鹤松. 高新技术弹药[M]. 北京:兵器工业出

版社,1997.

- [2] 梁争峰,胡焕性. 爆炸成型弹丸技术现状与发展[J]. 火炸药学报,2004,27(4):21-25.
- [3] 李裕春,程克明. 多爆炸成型弹丸技术研究[J]. 兵器材料科学与工程,2008,31(3):74-76.
- [4] Richard Fong, William Ng, Bernard Rice, et al. Multiple explosively formed penetrator (MEFP) warhead technology development[C]//19th International Symposium of Ballistics. Switzerland:IBC,2001:536-567.
- [5] 王猛,黄德武,罗荣梅. 整体多枚爆炸成型弹丸战斗部试验研究及数值模拟[J]. 兵工学报,2010,31(4):454-457.
- [6] Blache A, Weimann k. Multi-EFP-charge for light weight armor defeat[C]//8th International Symposium on Ballistics. San Antonio:TX Institute for Advanced Technology, The University of Texas at Aust in Southwest Research Institute,1999:414-425.
- [7] 周翔,龙源,余道强,等. 多弹头爆炸成型弹丸数值仿真及发散角影响因素[J]. 兵工学报,2006,27(1):23-26.
- [8] 刘建青,顾文彬,唐勇. 变壁厚球缺罩爆炸成型弹丸成型性能的数值模拟[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版,2008,9(2):173-176.
- [9] Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA Keywords User'S Manual[M]. California: Livermore Software Technology Corporation,1997.
- [10] 苏文周. EFP 侵彻钢板过程的光滑粒子法数值模拟研究[J]. 四川兵工学报,2013(6):20-25.

(责任编辑 杨继森)